



FACULTAD DE CIENCIAS DE LA VIDA Y TECNOLOGIAS

CARRERA DE BIOLOGÍA

TRABAJO DE INTEGRACION CURRICULAR

Modalidad Artículo Académico

Tema

"Diseño de un modelo predictivo de frescura en Caballa verde (*Caranx caballus* Günther, 1868) a partir de la resistencia eléctrica del tejido muscular post-mortem"

Autor(es)

Xeomara Maribel Cuenca Pilay

Carlos Luis Ozaeta Cuadros

Tutor

Blgo. Xavier Eduardo Pico Lozano, Ph.D

Periodo 2025 - I

Declaración de Autoría

En el presente documento, nosotros, Cuenca Pilay Xeomara Maribel y Ozaeta Cuadros Carlos Luis, declaramos que hemos contribuido a la realización del trabajo de titulación bajo la modalidad de Artículo Académico, como requisito previo para la obtención del título de Biólogo, con el tema: "Diseño de un modelo predictivo de frescura en Caballa verde (*Caranx caballus* Günther, 1868) a partir de la resistencia eléctrica del tejido muscular post-mortem".

Hemos revisado y aprobado la versión final del manuscrito, autorizando su presentación para publicación. Asimismo, garantizamos que este trabajo es original, no ha sido publicado previamente y no se encuentra en proceso de evaluación para su publicación en ningún otro lugar.

Además, declaramos no tener conflictos de interés en relación con este trabajo.

Firmas:

Xeomara Cuenca Pilay.

Cuenca Pilay Xeomara Maribel

C.I 1316838398

Carlos L.O.C.

Ozaeta Cuadros Carlos Luis

C.I 1350599021

	NOMBRE DEL DOCUMENTO: CERTIFICADO DE TUTOR(A).	CÓDIGO: PAT-04-F-004
	PROCEDIMIENTO: TITULACIÓN DE ESTUDIANTES DE GRADO BAJO LA UNIDAD DE INTEGRACIÓN CURRICULAR	REVISIÓN: 1 Página 1 de 1

CERTIFICACIÓN

En calidad de docente tutor de la Facultad de Ciencias de la Vida y Tecnologías de la Universidad Laica “Eloy Alfaro” de Manabí, CERTIFICO:

Haber dirigido, revisado y aprobado preliminarmente el Trabajo de Integración Curricular bajo la autoría del estudiante **Xeomara Maribel Cuenca Pilay** legalmente matriculado en la carrera de Biología del período académico 2025-1, cumpliendo el total de 384 horas, cuyo tema del proyecto o núcleo problémico es **“Diseño de un modelo predictivo de frescura en Caballa verde (*Caranx caballus* Günther, 1868) a partir de la resistencia eléctrica del tejido muscular post-mortem”**.

La presente investigación ha sido desarrollada en apego al cumplimiento de los requisitos académicos exigidos por el Reglamento de Régimen Académico y en concordancia con los lineamientos internos de la opción de titulación en mención, reuniendo y cumpliendo con los méritos académicos, científicos y formales, y la originalidad del mismo, requisitos suficientes para ser sometida a la evaluación del tribunal de titulación que designe la autoridad competente.

Particular que certifico para los fines consiguientes, salvo disposición de Ley en contrario.

Lugar, 06 de agosto de 2025.

Lo certifico,



Biol. Eduardo Xavier Pico Lozano, PhD.

Docente Tutor

Área: Grupo de investigación BIOCAL

AGRADECEDIMIENTOS

Ambos expresamos nuestro sincero agradecimiento al Blgo. Xavier Pico por su dedicación y compromiso académico durante todo este proceso. Sus enseñanzas y consejos oportunos no solo enriquecieron nuestro trabajo, sino que fueron un apoyo fundamental en nuestra formación. Valoramos profundamente la sabiduría y generosidad con las que nos guió, así como la motivación personal que supo transmitirnos para afrontar cada desafío de este camino.

DEDICATORIA

Xeomara Cuenca Pilay, agradezco a mis padres y a mi hermano quienes me han apoyado durante estos años de la carrera, gracias por su amor incondicional, por su gran paciencia y alentarme a seguir adelante.

Carlos Ozaeta Cuadros, agradezco a las personas que me dieron su apoyo y tuvieron la fe en mí, los más destacables fueron mis padres y hermana.

DISEÑO DE UN MODELO PREDICTIVO DE FRESCURA EN CABALLA VERDE, *Caranx caballus* (Günther, 1868) A PARTIR DE LA RESISTENCIA ELÉCTRICA DEL TEJIDO MUSCULAR POST-MORTEM

Xeomara Maribel Cuenca Pilay¹, Carlos Luis Ozaeta Cuadros¹, Eduardo Pico Lozano¹
Grupo de investigación BIOCAL,¹ Carrera de Biología, Facultad de Ciencias de la vida y
Tecnologías, Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí.
Correo institucional: e1316838398@live.uleam.edu.ec

RESUMEN

El presente estudio analizó la relación entre la resistencia eléctrica del tejido muscular post-mortem y el Índice de Calidad del Pescado (QIM) en *Caranx caballus* a partir de los 15 días de almacenamiento en hielo. Se emplearon análisis estadísticos como la regresión lineal simple, correlación de Pearson y ANOVA para determinar la capacidad predictiva de la resistencia eléctrica respecto a la frescura sensorial. Los resultados mostraron una correlación negativa significativa ($r = -0.946$; $p < 0.001$) y un alto coeficiente de determinación ($R^2 = 0.895$), en la cual indica una fuerte relación entre estas dos variables. La gráfica de evolución temporal mostró un ajuste polinómico, presentando un patrón no lineal de deterioro. Como resultado, la resistencia eléctrica puede utilizarse como un indicador objetivo, no destructivo y fiable del deterioro del pescado, presentando una alternativa para a los métodos sensoriales tradicionales para el control de frescura en el sector pesquero.

Palabras clave: frescura del pescado, resistencia eléctrica, Índice de Calidad (QIM), *Caranx caballus*.

ABSTRACT

This study analyzed the relationship between the post-mortem electrical resistance of muscle tissue and the Quality Index Method (QIM) in *Caranx caballus* during 15 days of ice storage. Statistical analyses such as simple linear regression, Pearson correlation, and ANOVA were used to determine the predictive capacity of electrical resistance with respect to sensory freshness. The results showed a significant negative correlation ($r = -0.946$; $p < 0.001$) and a high coefficient of determination ($R^2 = 0.895$), indicating a strong relationship between these two variables. The temporal evolution graph showed a polynomial fit, presenting a nonlinear pattern of deterioration. Therefore, electrical resistance can be used as an objective, non-destructive, and reliable indicator of fish deterioration, providing an alternative to traditional sensory methods for freshness control in the fishing industry.

Keywords: fish freshness, electrical resistance, Quality Index (QIM), *Caranx caballus*.

1. INTRODUCCIÓN

En este estudio se eligió La Caballa verde (*Caranx caballus* Günther, 1868) perteneciente de la familia Carangidae del orden Carangiformes. Se distribuye en el Pacífico oriental, a lo largo de la costa del Pacífico de México (desde las Islas de Baja California, Bahía de La Paz, Sonora y Oaxaca), la costa del Pacífico de Ecuador (desde Manabí hasta Punta Santa Elena e Islas Galápagos), y la costa del Pacífico de Perú (desde Cabo Blanco hasta la Isla Lobos de Tierra) (Donayre Salazar et al., 2022).

La forma del cuerpo de *Caranx caballus* es fusiforme alargado y comprimido lateralmente; su parte dorsal es convexa y su cabeza es robusta con ojos grandes. Su coloración es plateada en los lados y oscuro en el parte del dorso, mostrando una línea lateral bien definida; sus escamas son pequeñas. Tiene dos aletas dorsales que están separadas, la primera presenta espinas y la segunda tiene radios blandos. Las aletas pectorales son alargadas y el contorno es curvada, este ejemplar alcanza tallas superiores de 40 cm de longitud y tiene una notable agilidad y fuerza. Se alimenta de calamares, pulpos, cangrejos y otros invertebrados, y a su vez es alimento para tiburones y otros depredadores grandes (JESÚS, 2021).

Este pez pelágico tiene alta población, ya que es común en los mercados de mariscos de Manta y Jaramijó en la provincia de Manabí-Ecuador, es capturado por la flota industrial y artesanal, en la cual se usa métodos de pesca como son las redes de arrastre de fondo, línea de mano y enmalle de fondo. Es comercializado tanto en fresco como en congelado. Según la Lista Roja de la UICN, está clasificada en la categoría de menor preocupación (Palmerín Serrano et al., 2023).

El pescado es un recurso alimenticio de origen animal importante para una dieta equilibrada, ya que proporciona proteínas de alta calidad biológica con todos los aminoácidos esenciales necesarios para el cuerpo. Además, es una fuente importante de ácidos grasos poliinsaturados Omega-3, como el ácido docosahexaenoico y eicosapentaenoico, que favorecen la salud cardiovascular. Asimismo, incluye vitaminas del complejo B solubles en agua y liposolubles como E, A y D, que refuerzan el sistema inmunitario y óseo. Respecto a los minerales, proporciona potasio, hierro, calcio, yodo, magnesio, fósforo y zinc, favoreciendo diversas funciones metabólicas y el bienestar general (Rivadeneira Casanueva et al., 2021).

La frescura es un aspecto muy importante para los productos pesqueros del mar. Sin embargo, el pescado fresco se convierte en uno de los alimentos más susceptibles a la descomposición. Luego de su muerte, el ejemplar sufre algunos procesos como lo es la descomposición natural, microbiano, químico y enzimático. La disminución de la frescura del pescado se conoce como rancidez oxidativa, y cuando empieza a descomponerse rápidamente se refiere a sus propiedades organolépticas, lo que disminuye su valor nutricional y puede producir compuestos tóxicos (Fouzi et al., 2023).

Cuando pierde frescura, se integra al proceso de deterioro, el cual comienza de forma inmediata tras la captura y se conoce como alteraciones post-mortem. Por esta razón, es fundamental una adecuada manipulación desde la captura del pez hasta los procesos de comercialización para preservar una buena calidad. Estos cuidados forman parte de la actividad enzimática, bacteriana y oxidativa en la cual depende de los métodos de conservación como la especie y tamaño del pez,

método de captura, temperatura, tipo de almacenamiento y condiciones física antes de la muerte (Duarte et al., 2020).

La práctica de almacenar pescados en hielo es común en el comercio y se utiliza para enfriar y preservar. Mantenerlos en frío se vuelve un tratamiento muy efectivo para retardar el deterioro y bajar temperaturas, lo que reduce el crecimiento de microorganismos, disminuyendo así la velocidad del deterioro y ayudando a disminuir ciertos riesgos de seguridad. Así, logra disminuir la velocidad de las reacciones enzimáticas, especialmente las vinculadas a los primeros cambios post-mortem, prolongando la fase de rigor mortis (García, 2021).

Las alteraciones post-mortem se produce debido al alto contenido de agua y a los valores neutros de pH y entre otros factores (Hassoun et al., 2020). El porcentaje de deterioro durante el almacenamiento en hielo va a depender de las concentraciones de sustratos y metabolitos en el tejido, contaminación microbiana y condiciones de almacenamiento posteriormente de la captura de peces. Por eso es importante tratar de mantener la frescura a la hora de valorar la calidad del pescado (Calanche et al., 2020). Después de la muerte del pez, el músculo permanece completamente relajado, su textura es flexible y elástica totalmente perdura durante algunas horas y el músculo se contrae. Al volverse duro y rígido, todo el cuerpo se convierte inflexible y es cuando el pescado está en la etapa de rigor mortis (Espinoza Zavala et al., 2021).

El propósito del enfriamiento es extender el tiempo de conservación y la temperatura debe estar entre 0 a 4°C, en la cual ayuda a disminuir la actividades enzimáticas y bacterianas, así como los procesos químicos y físicos que logran afectar a la calidad del pescado (Espinoza Zavala et al., 2021). La formación de hielo se usa como un previo tratamiento antes de ser almacenado, siendo un proceso crucial en la industria pesquera en el transcurso de ser capturado y comercializado, en el que reduce el crecimiento de microorganismos e impide la deshidratación de los peces (Suárez Medina et al., 2024).

Cuando el pez es capturado se producen cambios sensoriales, físicos y químicos. Los cambios sensoriales se relacionan con la apariencia, textura, olor y gusto percibidos por los sentidos. Cuando se aumenta la temperatura de almacenamiento el músculo se oscurece por la actividad enzimática y comienza a liberar mucus que proviene de la mucina y esto genera un olor desagradable. Por lo general en la mayoría de los peces, normalmente se extrae el buche, que es la capa muscular afectada por la acción de las enzimas digestivas que se encuentran en el intestino. La degradación y formación de compuestos se caracteriza en los cambios químicos para evaluar la calidad del pescado. Por otro lado, la transformación física evalúa la resistencia eléctrica de los tejidos y la firmeza muscular (Duarte et al., 2020).

El método sensorial es considerado una de las técnicas más eficaces para evaluar la frescura y clasificar los productos pesqueros. El método conocido como "Quality Index Method" (QIM), que en español se traduce como el método de índice de calidad, es un sistema de control de calidad para evaluar la frescura del pescado, fue desarrollado por la Unidad de Investigación de Alimentos de Tasmania (TFRU), es una técnica de clasificación rápida, simple, descriptiva y no destructiva (Freitas et al., 2019).

Este método consiste en evaluar los cambios en las características notables de los pescados fresco, como la piel, ojos, branquias, firmeza muscular y el olor. Se emplea la asignación de puntos en un rango de 0 a 3, donde el puntaje más bajo indica frescura y el más alto significa falta de frescura. Para reducir los errores, es importante que sea utilizado por personas capacitadas (Cardoso et al., 2021). Los resultados dependen completamente de los sentidos como la vista, tacto, olfato y gusto

excepto el oído. Los valores registrados en los atributos se suman para dar una puntuación total conocida como Índice de Calidad (QI). Este índice muestra una correlación lineal con el tiempo de almacenamiento (Rodas, 2021).

El proyecto QIM-EUROFISH ha generado un gran impacto mediante su divulgación de un manual disponible en varios idiomas y el desarrollo de 13 esquemas QIM determinados como referencia para diferentes especies. Gracias a esa publicación se ha permitido que el QIM sea cada vez más notable para nuevas especies como para los productos derivados de la pesca silvestre y de la acuicultura, así garantiza la calidad en la cadena de los productos de pesquerías (Martinsdóttir et al., 2001).

Los métodos físicos para medir la impedancia eléctrica en tejidos biológicos tienen varias investigaciones por muchos años en el área médica y biológicas. La espectroscopia de impedancia eléctrica es un método muy bueno comparado con los otros métodos de análisis tradicionales, ya que este permite hacer mediciones en tiempo real. Una de las técnicas más destacadas en el área de mediciones de bioimpedancia es la medición no invasiva por medio de electrodos (Moncada et al., 2010).

La relación entre el estado post-mortem y el cambio de la impedancia del pez se ha diferenciado en desarrollar métodos para la evaluar la frescura. La espectroscopia de impedancia eléctrica (EIE) es rápida, no destructiva y cuantitativa de la frescura y estado de deterioro del pescado, analiza la frescura basándose en su composición y en el tiempo de almacenamiento, correlacionando las mediciones de impedancia, ya que probablemente indica la desnaturalización de las proteínas que ocurre durante el almacenamiento (Caicedo Eraso et al., 2020).

EIE es un método útil para evaluar la frescura y calidad del pescado durante el almacenamiento en frío, mediante el análisis no destructivo de las propiedades eléctricas del tejido post-mortem. Este método mide la respuesta del tejido a una señal eléctrica alterna de frecuencia variable, en la cual refleja cambios en la distribución de fluidos extra e intracelulares y en la integridad de las membranas celulares. Los procesos de deterioro post-mortem y los efectos del almacenamiento en frío, alteran las características bioeléctricas, permitiendo distinguir entre muestras frescas y aquellas con diferentes niveles de degradación (Hassoun et al., 2020).

El objetivo de este estudio es desarrollar una ecuación de regresión lineal que permita estimar el estado de frescura del pescado a partir de la medición de la resistencia eléctrica del tejido muscular post-mortem durante su conservación en hielo. A través de esta investigación, se propone un método objetivo y no invasivo que complementa las evaluaciones sensoriales tradicionales, facilitando un mejor control y monitoreo de la calidad en la cadena de frío de los productos pesqueros.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 MUESTRAS DE PESCADO

La recolección de *Caranx caballus* se realizó en la zona del Mercado de Mariscos de Playita Mía de la ciudad de Manta, provincia de Manabí, Ecuador (Latitud 0° 57' 1" sur; Longitud: 80° 42' 33" oeste), procedente de las capturas artesanales.

Los análisis fueron realizados en el mes de junio del 2025 durante 15 días, se seleccionaron aleatoriamente un total de 45 ejemplares con un tamaño entre (28-38) cm, asegurándonos de su

máxima frescura posible. Estos ejemplares fueron eviscerados y ubicados seguidamente en un recipiente isotérmico con hielo en el que se procedió a efectuar las respectivas observaciones.

2.2 ALMACENAMIENTO DE PESCADO

Los 45 ejemplares fueron colocados en las 3 hieleras isotérmicas, distribuidos con 15 ejemplares en cada hielera, alternando el pescado con 5 capas de hielo de 10 cm de grosor cada una, conservando una proporción 1:1. Esto se hizo con el propósito de conservar una temperatura entre 0°C y 0,5°C, la cual fue controlada dos veces al día, añadiendo hielo cuando fue necesario.

Esta estructura de capas asegura una refrigeración adecuada y homogénea del pescado, pues el hielo en capas alternas mejora la transferencia de frío y mantiene la frescura prolongada del producto.

2.3 ANÁLISIS SENSORIAL (PARÁMETROS ORGANOLÉPTICOS)

En este análisis sensorial, se seleccionaron 3 panelistas capacitados que evaluaron las características sensoriales a través del esquema QIM (**Tabla 1**), donde se retiró un ejemplar de forma aleatoria de cada hielera isotérmica, marcándolas como muestra 1, 2 y 3, realizando el debido análisis a cada muestra. Los parámetros para evaluar la caballa verde incluyeron: ojos (claridad, opacidad, hundimiento y condición de la córnea), branquias (color y olor), piel (brillo y color), firmeza muscular (respuesta al tacto y recuperación de forma) y mucosa visceral (transparencia, viscosidad y olor), con la finalidad de establecer en qué día el pescado dejó de ser adecuado para el consumo humano.

Los panelistas observaron, evaluaron y registraron los cambios que se produjeron en el análisis organoléptico de *Caranx caballus* conservado en hielo. Durante el proceso del análisis sensorial, cada uno de los atributos evaluados fue calificado con una escala de puntuación que permite hasta un máximo de tres deméritos por parámetro. Esta escala tiene una finalidad de reflejar el grado de frescura del pescado, donde una puntuación de 0 indica una condición ideal, es decir, frescura máxima y características ideales; en cambio una puntuación de 3 indica un alto grado de descomposición, marcado por cambios evidentes como pérdida de brillo, alteración de color, textura blanda, exceso de viscosidad, olores desagradables o en descomposición, entre otros. Así, la puntuación total aumenta gradualmente a medida que se pierden las alteraciones sensoriales, facilitando la identificación del instante en que el producto ya no es adecuado para el consumo humano.

2.4 ANÁLISIS FÍSICO

Para el análisis físico se midió la resistencia eléctrica del tejido muscular post-mortem con el objetivo de evaluar los cambios del deterioro durante el almacenamiento en hielo. Se procedió a usar un multímetro digital de marca Truper, modelo MUT-30, una pila de 9 voltios y cables conductores para crear un circuito eléctrico cerrado. El montaje de este circuito cerrado implicó unir los terminales positivo y negativo de la pila a las puntas de prueba del multímetro, mientras que estas puntas se insertaron directamente en el músculo del pez, manteniendo una separación constante entre ellas para equilibrar las mediciones. En este sistema, el tejido del pez actuó como conductor, permitiendo el flujo de corriente a través de sus fibras musculares. El multímetro se ajustó en la modalidad de medición de resistencia en ohmios, registrando los valores de impedancia en cada ejemplar.

Las mediciones se realizaron durante 15 días, seleccionando un pescado en cada una de las tres hieleras por cada día de análisis. El procedimiento se realizó en condiciones controladas. La

impedancia se inspeccionó en el músculo lateral del pez, en la parte media del cuerpo, zona específica del tejido comestible. Esta técnica permitió observar las variaciones eléctricas del tejido muscular a lo largo del tiempo, considerando una reducción en la impedancia indica un mayor grado de deterioro, debido a la pérdida de integridad celular y el aumento de la conductividad interna por liberación de fluidos.

2.5 ANÁLISIS DE DATOS

Los datos fueron analizados con el software IBM SPSS, se evaluó la correlación lineal entre el Índice de Calidad del Pescado (QIM) y la conductividad eléctrica del músculo post-mortem de *Caranx caballus* durante un período de 15 días de almacenamiento.

Se aplicó la correlación de Pearson para establecer la fuerza y dirección de la relación entre las dos variables, con un nivel de significancia de $p < 0.01$. Posteriormente, se desarrolló un modelo de regresión lineal simple, empleando la conductividad como variable independiente y el QIM como variable dependiente. Este modelo permitió determinar la capacidad predictiva de la impedancia eléctrica en relación con el índice sensorial de frescura.

Asimismo, se creó un gráfico de dispersión con líneas de tendencia en Microsoft Excel, donde se mostró la evolución diaria del QIM y la conductividad, incluyendo un eje Y secundario para permitir la interpretación conjunta de ambas variables.

Tabla 1. Esquema QIM

Parámetros		Descripción	Calificación
Ojos		Claros, brillantes, saltones	0
		Ligeramente opacos, algo hundidos	1
		Opacos, hundidos	2
		Secos, muy hundidos, córnea lechosa	3
Branquias	Color	Rojas vivas, sin moco	0
		Rojas apagadas, leve moco claro	1
		Pálidas, moco grisáceo	2
		Marrón-verdosas, moco espeso y mal olor	3
	Olor	Marino, fresco, yodado	0
		Ligero olor a pescado	1
		Rancio, poco agradable	2
		Amoniacal, pútrido	3
Piel		Brillante, metálico	0
		Ligeramente opaca	1
		Pérdida de brillo, color apagado	2
		Muy opaca, descolorida	3
Firmeza muscular		Muy firme, recupera forma rápido	0
		Firme, leve retardo al recuperar forma	1
		Blando, marca persistente con presión	2
		Muy blando, sin recuperación	3
Mucosa visceral		Clara, transparente, sin olor	0
		Viscosa leve, transparente	1
		Viscosa, turbia	2
		Espesa, pegajosa, maloliente	3
Índice de calidad			0-18

Fuente: Elaboración propia

3. RESULTADOS

3.1 DESARROLLO DEL ESQUEMA QIM

Los resultados del método sensorial establecieron un índice QIM (Quality Index Method) como se muestra en la (**Tabla 1.**) diseñado para la especie *Caranx caballus*, teniendo en cuenta un periodo almacenamiento en hielo de 15 días. El esquema QIM desarrollado abarcó 5 parámetros de calidad: ojos, branquias (separado en color y olor), piel, firmeza muscular y mucosa visceral, que en su conjunto incluyen 11 atributos sensoriales significativos para el seguimiento del deterioro post-mortem.

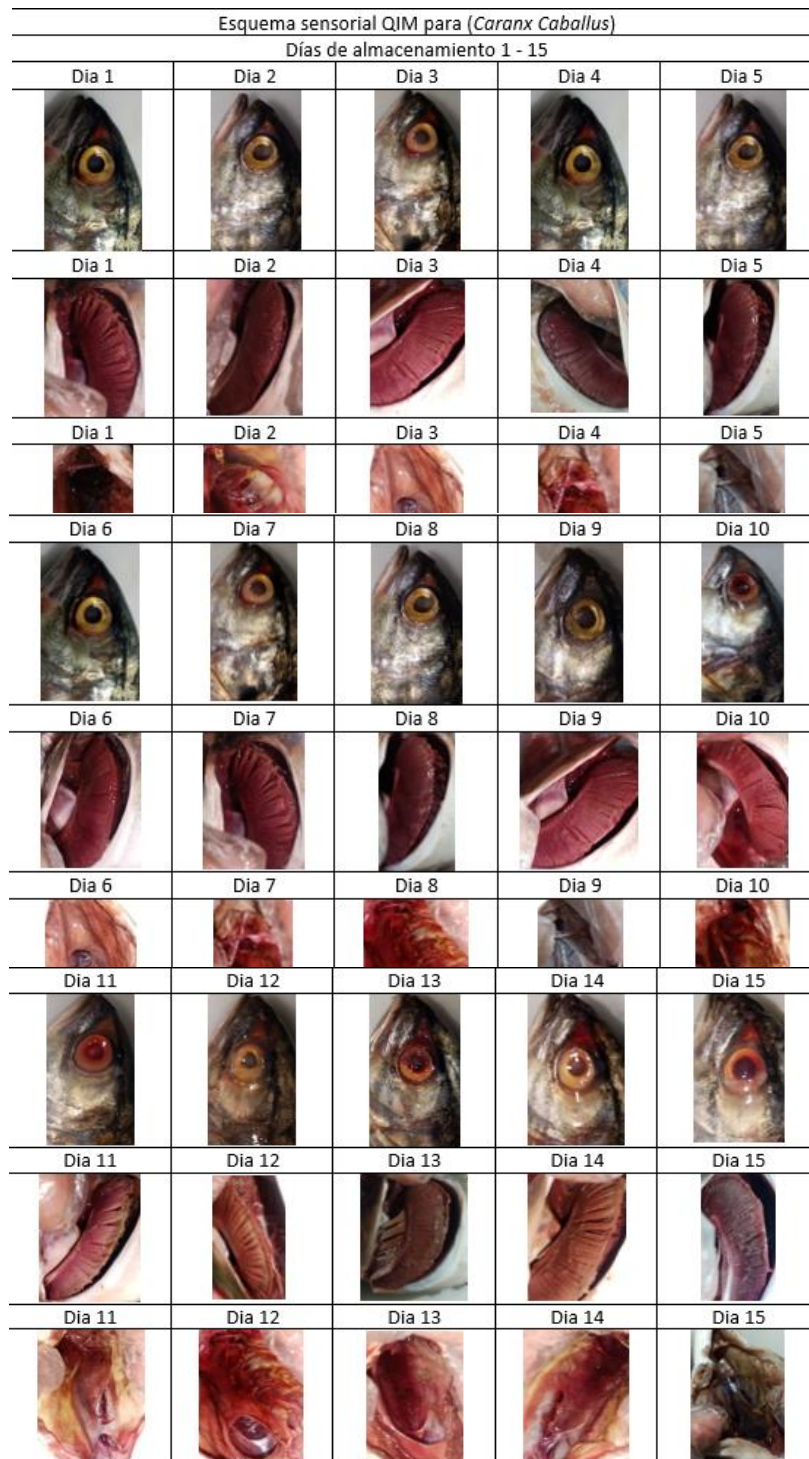
Cada atributo se detalló con criterios progresivos de alteración, desde la condición ideal (puntuación 0) hasta el máximo nivel de deterioro (puntuación 3), lo que facilita una evaluación objetiva de la calidad. La puntuación máxima posible es de 18 puntos de demérito por muestra, lo que equivale al deterioro sensorial extremo en todos los parámetros evaluados. Este sistema completo de deméritos permitió el seguimiento diario de la evolución sensorial de la caballa verde durante su conservación en refrigeración, ayudando a identificar con precisión las alteraciones que marcan el límite de idoneidad para el consumo del producto.

Durante el tiempo de conservación en hielo, los parámetros sensoriales evaluados mediante el esquema de QIM evidenciaron la disminución de frescura. Primeramente, los ojos se mostraron claros y brillantes, las branquias mantuvieron un color rojo vivo sin presencia de moco y un olor fresco como del mar, la piel poseía un brillo metálico, la firmeza muscular fue excelente con rápida recuperación tras presión y la mucosa visceral permaneció transparente y sin olor.

A medida que pasaban los días de almacenamiento, los ojos presentaron una ligera opacidad y hundimiento, seguidos de una opacidad más notable en secuencia hasta los últimos días. Las branquias cambiaron de un color rojo vivo a matices apagadas, formando una sustancia mucosa con un aspecto olor extremadamente repulsivos, transformándose de un aroma fresco a uno amoniacal y, al final, en descomposición. La piel dejó de brillar y se tornó opaca y sin color. La firmeza muscular disminuyó, presentando un aspecto blando y sin capacidad de recuperación con la presión, mientras que la mucosa visceral se transformó de clara a viscosa, turbia y pegajosa con un olor desagradable (**Figura 1**).

Estos cambios en las características sensoriales organolépticas indicaron el aumento progresivo del puntaje QIM total, lo que permite establecer el momento en que la caballa ya no es adecuada para el consumo. Este enfoque resulta valioso para continuar evaluando y anticipando la calidad sensorial conservada en hielo de este ejemplar y de otras especies pelágicas que presenten alguna similitud.

Figura 1. Cambios de los atributos sensoriales de *Caranx caballus*



Fuente: Elaboración propia

Los puntajes promedio obtenidos mediante el método QIM evidenciaron un incremento durante el almacenamiento en hielo por 15 días. El análisis mostró un promedio inicial de QIM de 0.22 en el día 1, indicando un estado óptimo de frescura. A continuación, el índice mostró una tendencia al alza progresiva (**Tabla 2**) y, a su vez, constante.

Durante los primeros cinco días, el puntaje promedio mostró un aumento moderado, obteniendo valores entre 2.11 y 3.67, en la cual el pescado presentó características sensoriales apropiadas con ligeras variaciones. Luego, en los días 6 y 9, incrementó el promedio entre 5.44 y 7.78, mostrando una mayor presencia de cambios organolépticos, como opacidad ocular, pérdidas parciales de brillo en la piel y olor intenso. En el día 10, el deterioro aumentó notablemente, con promedios que señalaron los 10 puntos. Durante los días posteriores, hasta concluir la investigación el día 15, los valores mostraron un incremento significativo, alcanzando un promedio máximo de 17.11, indicando un estado avanzado de deterioro sensorial con características inapropiadas para el consumo.

Tabla 2. Puntajes promedio diarios del índice de calidad sensorial (QIM) de *Caranx caballus* durante 15 días de almacenamiento en hielo

DÍAS	QIM
1	0,22
2	2,11
3	3,11
4	3,56
5	3,67
6	5,44
7	5,56
8	7,67
9	7,78
10	10,22
11	10,33
12	10,44
13	13,78
14	14,89
15	17,11

Fuente: Elaboración propia

3.2 EVALUACIÓN FÍSICA

El análisis físico llevado a cabo en el tejido muscular de *Caranx caballus* mostró un deterioro progresivo durante el almacenamiento en hielo, evidenciado por los cambios en la resistencia eléctrica. En la que se diseñó un esquema de circuito cerrado como se puede ver en la (**Figura2**).

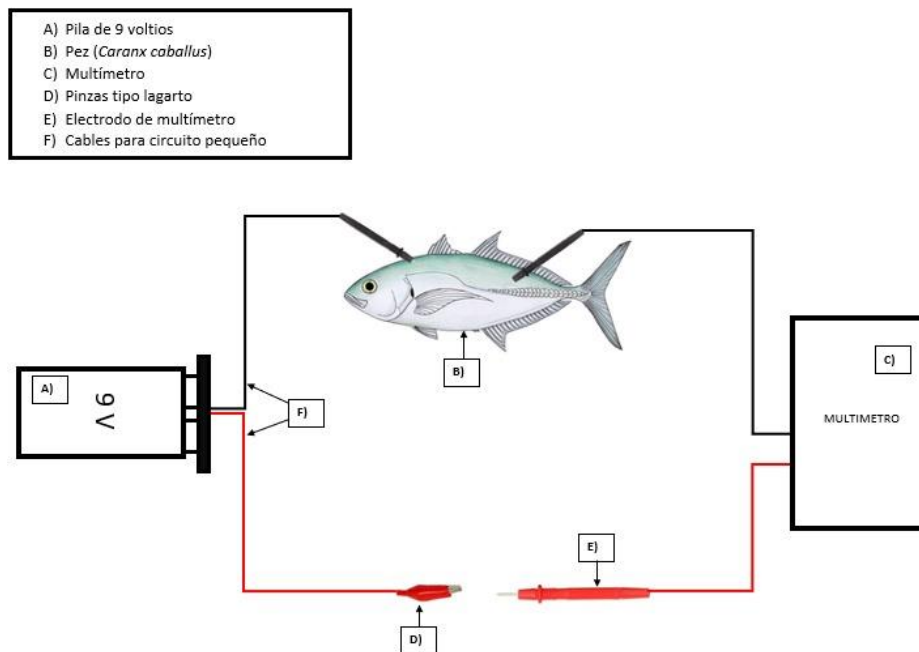
Los promedios diarios de resistencia eléctrica observados durante los 15 días presentan una evidente tendencia decreciente clara. En el primer día fue cercana a 1, lo que indica una resistencia alta en la que se observa un tejido de calidad. Desde el día 5, la resistencia mostró valores entre 1 y 0.99, como se observa en la (**Tabla 3**), lo que indica una leve alteración fisicoquímica del tejido.

En el día 6, se observó una disminución de la resistencia eléctrica, promediando de 0.996 a 0.990 hasta el día 7, lo cual marca el comienzo de los procesos de degradación post-mortem, ruptura de membranas celulares y liberación de fluidos internos, que incrementan la resistencia eléctrica del

tejido muscular. Con el transcurso del tiempo de almacenamiento, la resistencia siguió disminuyendo, alcanzando promedios de 0.985 en el día 9 y bajando hasta 0.939 en el día 15. Esto verifica que el deterioro del pescado eleva la resistencia eléctrica interna, donde se nota el progreso de la autólisis y la disminución de frescura.

Estos promedios indican que la medición de resistencia eléctrica es una herramienta objetiva para evidenciar el nivel de deterioro muscular en *Caranx caballus* durante la refrigeración, la cual establece una relación directa entre el tiempo de almacenamiento y el daño físico del tejido. Los datos registrados indican una rápida disminución de la integridad en los últimos días, definiendo el periodo ideal para el consumo seguro del producto.

Figura 2. Esquema para la medición de impedancia eléctrica en el tejido post- mortem



Fuente: Elaboración propia

Tabla 3. Puntajes promedio diarios de la resistencia de *Caranx caballus* durante 15 días de almacenamiento en hielo

DÍAS	RESISTENCIA	DÍAS	RESISTENCIA
1	1	9	0,9857
2	0,999	10	0,967
3	0,9978	11	0,9611
4	0,9974	12	0,9465
5	0,9967	13	0,9455
6	0,996	14	0,9447
7	0,9905	15	0,9396
8	0,9879	Fuente: Elaboración propia	

Se llevó a cabo un análisis de correlación de Pearson, donde se encontró una fuerte correlación negativa y estadísticamente significativa entre el Índice de Calidad del Pescado (QIM) y la resistencia eléctrica del tejido muscular post-mortem de *Caranx caballus*, a lo largo de los 15 días de almacenamiento en refrigeración (**Tabla 4**). La correlación de Pearson resultó ser $r = -0.946$, con un valor de $p = 0.001$ (bilateral), lo que sugiere que cuando la resistencia eléctrica disminuye, el QIM aumenta, lo que implica que el estado de frescura del pescado disminuye continuamente

Tabla 4. Correlación de Pearson entre las variables QIM y Conductividad.

Correlaciones			
QIM	Correlación de Pearson	1	-0,946
	Sig. (bilateral)		0,001
	N	15	15
Resistencia eléctrica	Correlación de Pearson	-0,946	1
	Sig. (bilateral)	0,000	
	N	15	15

La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

Se realizó un análisis de regresión lineal simple para evaluar la capacidad predictiva de la resistencia eléctrica respecto al Índice de Calidad del Pescado (QIM). El modelo resultó ser estadísticamente significativo y explicó el 89.5% de la variabilidad observada (**Tabla 5**) en los valores de QIM ($R^2 = 0.895$). La resistencia se convirtió en un predictor relevante del QIM, indicando que al disminuir la resistencia del tejido muscular post-mortem, el índice sensorial de calidad aumenta.

Tabla 5. Resultados del análisis de regresión lineal: efecto de la resistencia eléctrica sobre el QIM en *Caranx caballus* durante el almacenamiento.

Resumen del modelo				
Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación
1	0,946	0,895	0,887	1,67940

El modelo de regresión lineal resultó estadísticamente significativo de acuerdo con el análisis de varianza (ANOVA), mostrando una relación significativa entre la resistencia eléctrica y el índice de calidad del pescado ($F = 110,854$, $p < 0,001$) (**Tabla 6**). Esto sugiere que la resistencia muestra una parte importante de la variabilidad en los valores del QIM a lo largo de los 15 días de almacenamiento.

Tabla 6. Análisis de varianza (ANOVA) del modelo de regresión lineal entre la resistencia eléctrica y el Índice de Calidad del Pescado (QIM) en *Caranx caballus* durante 15 días de almacenamiento.

ANOVA						
Modelo		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
1	Regresión	312,652	1	312,652	110,854	0,001
	Residuo	36,665	13	2,820		
	Total	349,317	14			

a. Variable dependiente: QIM – b. Predictores: (Constante), resistencia eléctrica

El modelo de regresión indicó que la resistencia eléctrica del tejido muscular tiene un efecto negativo y significativo sobre el Índice de Calidad del Pescado ($B = -201,439$; $p < 0,001$), lo que indica el valor del QIM cuando la resistencia es nula. El coeficiente estandarizado Beta ($-0,946$) indica una notable incidencia de la conductividad en el QIM (**Tabla 7**).

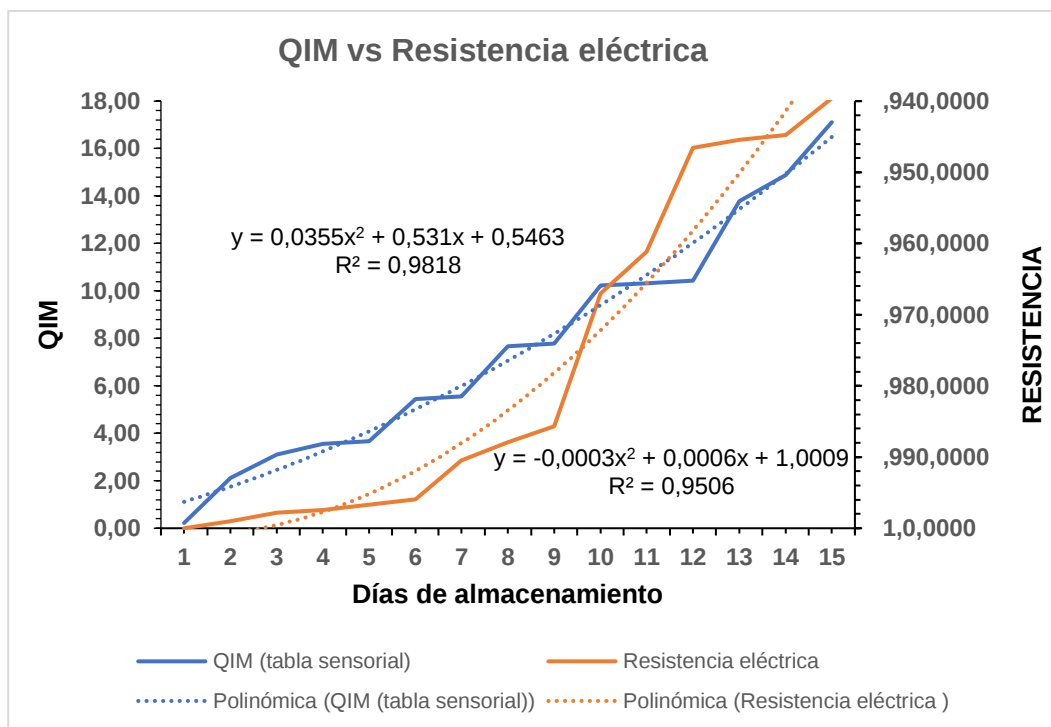
Tabla 7. Coeficientes del modelo de regresión lineal entre resistencia eléctrica y el Índice de Calidad del Pescado (QIM) en *Caranx caballus* durante 15 días de almacenamiento.

Coeficientes						
Modelo		Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.
		B	Desv. Error	Beta		
1	(Constante)	204,538	18,698		10,939	0,001
	resistencia eléctrica	-201,439	19,132	-0,946	10,529	0,001

a. Variable dependiente: QIM

Después de los 15 días de almacenamiento en hielo, se notó un aumento consistente del Índice de Calidad del Pescado (QIM), acompañado de una disminución en la resistencia eléctrica del tejido muscular post-mortem. El progreso de las dos variables se ajustó a un modelo polinómico de segundo grado, con un coeficiente de determinación de $R^2 = 0,9818$ para el QIM y $R^2 = 0,9506$ para la resistencia eléctrica, evidenciando una fuerte relación temporal entre ambas (**Figura 3**). Estos resultados respaldan la utilización de la resistencia eléctrica como un indicador objetivo y complementario al método sensorial para determinar la frescura del pescado.

Figura 3. Evolución del Índice de Calidad del Pescado (QIM) y de la resistencia eléctrica en *Caranx caballus* durante 15 días de almacenamiento en hielo.



4. DISCUSIÓN

Los resultados de esta investigación evidencian el uso de la resistencia eléctrica como indicador objetivo del deterioro sensorial (QIM) en *Caranx caballus* a lo largo de 15 días de conservación posmortem. La correlación negativa significativa entre resistencia y QIM ($r = -0.946$; $p < 0.001$) coincide con estudios recientes, como el de (Fan et al., 2020) la cual tuvo como ejemplar a la trucha arcoíris donde se demostró una correlación fuerte entre impedancia bioeléctrica y frescura ($r \approx -0.94$; $p < 0.01$).

El análisis de regresión lineal demostró una relación precisa entre la resistencia eléctrica del tejido muscular y el índice sensorial de frescura (QIM), sugiriendo que este parámetro físico puede usarse eficazmente para predecir el deterioro del pescado durante su almacenamiento en hielo. La evaluación estadística del modelo confirmó que esa relación es significativa y confiable, respaldando el uso de la resistencia eléctrica como un método objetivo y no destructivo para determinar la calidad del pescado. Estas indagaciones coinciden con estudios recientes, como el de (Sun et al., 2020), que indicaron que la espectroscopía por impedancia puede anticipar signos de deterioro en productos pesqueros, recalcando su utilidad como herramienta complementaria a los métodos sensoriales tradicionales. De igual manera, (Wang et al., 2024) analizaron el uso de la espectroscopía de impedancia eléctrica (EIS) como técnica no destructiva para determinar la calidad interna de carnes y pescados, destacando su notable precisión, lo que refuerza la confianza en los métodos eléctricos para monitorear la frescura.

La gráfica de la curva polinómica y $R^2 > 0.95$ para QIM y resistencia eléctrica, indica un patrón no lineal en el deterioro sensorial y físico, concordando con estudios sobre parámetros

electrospectroscópicos usados en pescado durante su almacenamiento. Asimismo, la investigación de (Colman et al., 2025) han evidenciado que las características eléctricas del tejido muscular están en buena relación con parámetros sensoriales, lo que refuerza su relevancia en especies cultivadas de interés comercial. De manera conjunta, estos hallazgos refuerzan la teoría de que la resistencia eléctrica actúa como un predictor fiable y complementario al método sensorial QIM, superando la subjetividad e incrementando la eficacia en el control de frescura en el sector pesquero.

5. CONCLUSIÓN

El presente estudio académico sugiere que la resistencia eléctrica del tejido muscular post-mortem en *Caranx caballus* puede servir como un indicador objetivo y no destructivo del deterioro sensorial, reflejado por el Índice de Calidad del Pescado (QIM), durante 15 días de conservación en hielo. La fuerte correlación negativa observada, junto con la capacidad predictiva del modelo de regresión, confirma que este parámetro físico revela con exactitud el avance del deterioro del pescado. Estos resultados ofrecen una alternativa tecnológica factible al análisis sensorial tradicional, reduciendo la subjetividad y permitiendo una evaluación más eficiente y amplia de la frescura en especies comerciales. El desarrollo de la gráfica de las dos variables sugiere un patrón constante de disminución en la calidad, lo que refuerza su uso en entornos industriales. Este estudio puede ser muy útil para los sistemas de control de calidad en la cadena de frío, plantas de procesamiento y centros de distribución de productos del mar.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Caicedo Eraso, J. C., Díaz Arango, F. O., & Osorio Alturo, A. (2020). Espectroscopia de impedancia eléctrica aplicada al control de la calidad en la industria alimentaria. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 21(1), 1-20. https://doi.org/https://doi.org/10.21930/rcta.vol21_num1_art:951
- Calanche, J., Pedrós, S., Roncalés, P., & Beltrán, J. (2020). Diseño de herramientas predictivas para estimar el índice de frescura en dorada de piscifactoría (*Sparus aurata*) almacenada en hielo. *Foods*, 9(1). <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/foods9010069>
- Cardoso, P., Gonçalves, O., Carvalho, M., Ozório, R., & Vaz Pires, P. (2021). Evaluación estacional del perfil de frescura de especies de peces de importancia comercial. *Foods*, 10(7), 1567. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/foods10071567>
- Colman, J., Zimmerman, S., Hoenig, R., Cox, K., & Stieglitz, J. (2025). Relación de la impedancia bioeléctrica con los datos sensoriales organolépticos del lenguado olivareño de cultivo agrícola, *Paralichthys olivaceus*. *Aquaculture International*, 33(178). <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s10499-025-01845-9>
- Donayre Salazar, S., Higaki Moyano, K., Roque Sánchez, M., Campano Lorenzo, A., & Barriga Rivera, E. (2022). Especies de Carangidae inusuales durante el Niño costero 2017 en el litoral de Pisco, sur del Perú. *Revista Peruana de Biología*, 29(1), 001-008. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.15381/rpb.v29i1.21280>
- Duarte, A., Silva, F., Pinto, F., Barroso, S., & Gil, M. (2020). Evaluación de la calidad del pescado refrigerado y congelado: mini revisión. *Foods*, 9(12). <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/foods9121739>
- Espinoza Zavala, S. A., Paz Aguilera, A. M., & Pérez Mejía, M. J. (2021). Evaluación de la calidad del pescado pargo lunarejo (*Lutjanus guttatus*) refrigerado y congelado mediante pruebas organoléptica y físico-química. *Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua (UNAN-León), Facultad de Ciencias Químicas, Ingeniería en Alimentos*.
- Fan, X., Lin, X., Wu, C., Zhang, N., Cheng, Q., Qi, H., Konno, k., & Dong, X. (2020). Estimación de la frescura de la trucha arcoíris almacenada en hielo mediante análisis de impedancia bioeléctrica. *Food Science & Nutrition*, 8(11), 154–163. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/fsn3.1974>
- Fouzi, M., Nikzaad, R., & Thaiuba, A. (2023). Evaluación organoléptica de tilapia (*Oreochromis niloticus*) almacenada a diferentes temperaturas. *East Asian Journal of Multidisciplinary Research (EAJMR)*, 2(8), 3491–3506. <https://doi.org/https://doi.org/10.55927/eajmr.v2i8.5565>
- Freitas, J., Vaz Pires, P., & Cámara, J. (2019). Evaluación de frescura y predicción de la vida útil para *Seriola dumerili* de la acuicultura basada en el método del índice de calidad. *Molecules*, 24(19), 3530. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/molecules24193530>
- García, M. d. (2021). Pescado congelado: desarrollo y aplicación del método del índice de calidad (QIM) a diferentes especies y estudio de hábitos de compra y consumo. *Tesis doctoral, Escuela de Doctorado Internacional, Universidad de Santiago de Compostela*.

- Hassoun, A., Shumilina, E., Di Donato, F., Foschi, M., Simal Gándara, J., & Biancolillo, A. (2020). Técnicas emergentes para la diferenciación de mariscos frescos y congelados-descongelados: destacando el potencial de las técnicas espectroscópicas. *Moléculas*, 25(19). <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/molecules25194472>
- JESÚS, F. G. (2021). Edad, crecimiento y aspectos reproductivos de *Caranx caballus* en Puerto Ángel, Oaxaca . *Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Estudios Superiores Zaragoza.*, 67.
- Martinsdóttir, E., Sveinsdóttir, K., Luten, J., Schelvis Smit, R., & Hyldig, G. (2001). *QIM Eurofish: Manual sensorial para la evaluación de la frescura de productos pesqueros*. Eurofish.
- Moncada, M., Saldarriaga, M., Bravo, A., & Pinedo, C. (2010). Medición de impedancia eléctrica en tejido biológico – Revisión. *Rev. Tecno Lógicas*, 51-76.
- Palmerín Serrano, P., Piñeros, V., Ross , R., Angulo, A., Espinoza, E., Barraza, E., Martínez Gómez, J., Solís Gúzman, M., Calderón Cortés, N., Valdiviezo Rivera, J., & Domínguez Domínguez, O. (2023). Comparative phylogeography and demographic histories of five widely distributed tropical eastern Pacific fishes. *Marine Biology*, 170(12), 158. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s00227-023-04299-w>
- Rivadeneira Casanueva, D., de la Cruz Rivadeneira, O., Castillo Jiménez, D., Gómez Avilés, H., López Concepción, A., & Ulloa Zaila, A. (2021). Mejoramiento a la gestión de calidad en la logística de aprovisionamiento. Caso de estudio: empresa pesquera acuícola. *Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería*, 44(1), 51-58. <https://doi.org/10.22209/rt.v44n1a07>
- Rodas, A. P. (2021). Determinación mediante características organolépticas la frescura de pescados destinados al consumo humano en el Mercado Caraguay de Guayaquil. *Universidad Agraria del Ecuador, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia*.
- Suárez Medina, M., Sáez Casado, M., Martínez Moya, T., & Rincón Cervera, M. (2024). El efecto del almacenamiento a baja temperatura en la calidad lipídica del pescado, ya sea solo o combinado con tecnologías de conservación alternativas. *Foods*, 13(7). <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/foods13071097>
- Sun, J., Zhang, R., Zhang, Y., Liang , Q., Zhang, F., Xu , P., & Li , G. (2020). Evaluación de la frescura del pescado mediante espectroscopia de impedancia basada en el parámetro característico de diferencia de dirección ortogonal. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 100(11). <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/jsfa.10435>
- Wang, S., Zhang, Z., Zhao, X., & Xiao, X. (2024). Espectroscopia de impedancia eléctrica para la evaluación no destructiva de la frescura de la carne. *Discover Food*, 4(177). <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s44187-024-00259-5>

7. ANEXOS

